Ueber den Einfluss von Aldehydlösungen

auf die

Lebensthätigkeit der Pflanzen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

einer

hohen philosophischen Fakultät

der

k. Friedrich - Alexanders - Universität zu Erlangen

vorgelegt von

Karl Kuch

am 10. Juni 1891.

München 1893.

Dr. E. Wolff & Dr. H. Lüneburg

Wissenschaftlicher Verlag.

Ueber den Einfluss von Aldehydlösungen

auf die

Lebensthätigkeit der Pflanzen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

einer

hohen philosophischen Fakultät

der

k. Friedrich - Alexanders - Universität zu Erlangen

vorgelegt von

Karl Kuch

am 10. Juni 1891.

München 1893.

Dr. E. Wolff & Dr. H. Lüneburg

Wissenschaftlicher Verlag.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535711_0079

Vorliegende Arbeit erhielt ihre Anregung durch Herrn Dr. Bokorny, der sich mit der Frage nach dem chemischen Vorgang der Assimilation beschäftigte und dieselbe vom Standpunkt der bekannten Baeyer'schen Hypothese aus in Angriff nahm, wonach mit Hilfe des Lichtes aus Kohlensäure zunächst Formaldehyd gebildet und dieser unter Mitwirkung des Chlorophyllapparates zu Kohlehydrat condensiert wird. Verschiedene Forscher wie Buttlerow und Löw [1]) haben sich mit der Zuckersynthese aus CH_2O beschäftigt, und letzterer hat thatsächlich Produkte erhalten, die genau dieselben chemischen Eigenschaften besassen, wie wahre Zuckerarten. Wenn nun in Wirklichkeit der physiologische Vorgang der Assimilation so verläuft, dass das Zwischenprodukt derselben Formaldehyd ist, so sollte man meinen, der pflanzliche Organismus könnte den Formaldehyd zu seiner Ernährung verwenden, wenn er ihm in einer entsprechenden Lösung geboten würde.

Bisher wurden Ernährungsversuche mit organischen Kohlenstoffquellen in grosser Anzahl ausgeführt. Zuerst unternahm es J. Böhm im J. 1883, [2]) Zucker zu Stärkebildungsversuchen zu verwenden und zwar mit Erfolg. Nach ihm folgten A. Meyer und Laurent [3]) mit einer Reihe von Untersuchungen über diese Frage. So ex-

1) O. Löw, über Formaldehyd und dessen Condensation. München 1886.

2) J. Böhm, Bot. Zeitung 1883, pag. 52.

3) A. Meyer & Laurent, Bot. Zeitung 1886, pag. 81.

perimentierten sie mit Mannit, Dulcit und Glycerin mit günstigen Resultaten. Ungünstige Resultate ernteten sie mit Erythrit, Galaktose, Inosit und Raffinose. Laurent machte Versuche mit verschiedenen anderen organischen Substanzen, die schon im Voraus negative Resultate erwarten liessen, so mit Oxalsäure, Essigsäure, Olivenöl und Citronenöl. Günstige Erfolge hat Bokorny [1]) bei seinen Stärkebildungsversuchen mit Methylendimethyläther, Glykol, Methylalkohol und übereinstimmend mit den Versuchen von A. Meyer & Laurent mit Glycerin.

Ich unternahm es nun zu untersuchen, in welcher Weise sich die Einflüsse der Aldehyde speciell des Acet- und Formaldehydes auf die Functionen des pflanzlichen Organismus geltend machen.

Was den Gang der vorliegenden Arbeit anlangt, so suchte ich mir zuerst darüber Klarheit zu verschaffen, wie sich die einzelne Zelle und die Träger ihrer Lebensthätigkeit der Einwirkung der Aldehydlösungen gegenüber verhielten. Ein sehr günstiges Material hiezu bieten einzelne Species unserer Süsswasseralgen. Hatte ich mir über diese Vorgänge innerhalb der einzelnen Zelle inductiv Sicherheit verschafft, so ging ich weiterhin daran, festzustellen, welche Veränderungen ein histologisch differenzierter Zellencomplex erleidet. Zur Entscheidung dieser Frage wählte ich zu Versuchsobjecten Repräsentanten der verschiedensten Gruppen des Pflanzenreichs, namentlich aus der Abtheilung der Phanerogamen.

Gewisse, in chemischer Hinsicht recht wichtige Momente wurden bei den Versuchen nicht ausser Acht gelassen, namentlich die Thatsache, dass der Aldehyd ein äusserst leicht oxydirbarer und dabei höchst flüch-

---

1) Studien und Experimente über den Menn'schen Vorgang der Assimilation. Erlangen 1888.

tiger Körper ist, der sich durch grosse Beweglichkeit des Moleküls auszeichnet und schon bei Gegenwart von Spuren fremder Beimischungen sehr leicht polymere Modificationen bildet. Es sind dies Fragen von höchster Bedeutung bei Experimenten mit derartig organisierten Stoffen.

I. Einfluss des Aethylaldehyds auf Plasma, Zellkern und Chlorophyll.

Zur continuirlichen Beobachtung unter dem Mikroskop standen mir einzelne Species aus der Familie der Spirogyren zur Verfügung, die relativ leicht zu beschaffen und ziemlich widerstandsfähig sind. Kulturen sowohl in grösseren Gefässen als auch in feuchten Glaskammern [System: Selenka & Schultze[1])] mit suspendierten Tropfen der Kulturflüssigkeit wurden unterhalten und täglich untersucht. Gleichzeitig wurden Controlkulturen aufgestellt, um etwaige Differenzen genau ermitteln zu können. Seitlich einfallendes Licht bei den zur Verwendung gekommenen feuchten Kammern wurde durch geeignete Massregeln möglichst vermieden. Weitere Nachtheile physikalischer Natur wie z. B. die Lichtbrechung im suspendierten Tropfen der Kulturflüssigkeit und der Mechanismus der Adhäsion sind allerdings abnorme Lebensbedingungen für die Versuchspflanze, können jedoch durch Vergleichung mit speciellen Controlkulturen annähernd bestimmt werden.

1%—$1^{00}/_{00}$ Aethylaldehyd-Lösungen führen unter Contractions- und Destructionserscheinungen des Protoplasmaschlauches ein Absterben der erwähnten Algenformen in kurzer Zeit herbei, gewöhnlich innerhalb eines

---

1) Bot. Praktikum v. Strasburger, 2. Aufl., Jena 1887, S. 416.

Zeitraumes von 1—6 Tagen. Individuelle Unterschiede treten hier wie fast bei allen ähnlichen Versuchen zu Tage; manche Exemplare waren verhältnissmässig längere Zeit im Stande einer 1%—1‰ Aldehyd enthaltenden Kulturflüssigkeit zu widerstehen; andere waren nach bedeutend kürzerer Zeit vollständig abgestorben. In einer 1%-Lösung zeigen einzelne Spirogyrenspecies schon nach 4—5 Stunden die toxischen Wirkungen des Aldehyds.

Die primären pathologischen Processe sind zu erkennen an der allmählichen Verblassung der vorher intensiv grünen Chlorophyllspiralen. Vorher vielfach gebuchtet, ziehen sie sich nach und nach zusammen und im Zusammenhang mit dem von der Wandung sich loslösenden Plasma haben sie das Bestreben, namentlich wenn sie in normalem Zustande ziemlich hohe Ganghöhen beschrieben haben, sich parallel zur Axe des Zellcylinders zu stellen. Dies ist ein sicheres Zeichen des in kurzer Zeit eintretenden Todes.

Nicht selten kann man die Beobachtung machen, dass bei einigen Algenfäden, trotzdem eine Plasmacontraction eingetreten war, doch noch das Charakteristische des lebenden Protoplasmas: die Bewegung, wenn auch sehr langsam, immerhin noch persistierte, was bei einer annähernd starken Vergrösserung sehr deutlich zu sehen war. Dass es sich hier nicht etwa um Plasmolyse handelte, konnte nachgewiesen werden, wenn derartig afficierte Exemplare in frisches Wasser gelegt wurden. Eine sogenannte Wiederbelebung trat nie ein; auch waren die Protoplasmaschläuche fähig, Farbstoff aufzuspeichern, was ja eine Eigenschaft gerinnender oder schon geronnener Protoplasmamassen ist. Es wird zwar behauptet, dass auch lebendes Protoplasma Farbstoffe, namentlich verschiedene Anilinfarben, aufnehmen kann, ohne abzusterben, allein mir gelang es niemals mit der zu diesem Zweck angegebenen 0,0001%-Methylviolett-

lösung bei völlig gesunden Spirogyren eine Färbung hervorzurufen. Wir haben es also hier mit tief greifenden Zersetzungsprocessen in der Protoplasmasubstanz zu thun. Diese dürften in der Weise entstehen, dass die eingedrungene, theilweise durch die Plasmathätigkeit zerlegte Lösung Verbindungen mit gewissen Zellbestandtheilen eingeht und so Ursache ist von chemisch-physikalischen Modificationen, die einen solchen passiven Zustand des Zellkörpers herbeiführen, den wir eben am besten mit dem Ausdruck: Tod bezeichen können. Es findet sich in der Literatur thatsächlich auch eine chemische Erklärung für diese Vorgänge in der Zelle, wenn man mit Bokorny[1]) annimmt, dass sich der Aldehyd als ungesättigte Verbindung an die Amidgruppen des activen Albumins anlagert (diese sind von Löw und Bokorny im lebenden Protoplasma nachgewiesen), so dass eine Bildung von $CH_3 — CH — OH — NH_2$ nicht ausgeschlossen wäre und auf diese Weise eine Sistierung der Lebensthätigkeit des Protoplasmas zu stande käme.

Hat eine 1%-Aethylaldehydlösung 24 Stunden lang eingewirkt, dann ist bei Spirogyren die Lebensthätigkeit vollständig aufgehoben. Das Plasma präsentirt sich nicht mehr als eine durchsichtig helle Masse, sondern es hat einen schmutzig grauen, trüben Ton angenommen und erscheint von undurchsichtiger Consistenz. Die mit dem Wandplasma und dem Zellkern in Verbindung stehenden Plasmafäden haben das Bestreben, sich zusammenzuziehen; die schwächsten sind sogar theilweise vom Wandplasma losgerissen. In Folge der allgemein sich vollziehenden Destruction ist der Zellkern aus seiner centralsuspendierten Lage gebracht und hat eine wandständige Stellung eingenommen. Aehnlich wie bei dem

1) Bokorny, Studien und Experimente über den chem. Vorgang der Assimilation p. 21.

veränderten Plasma erscheint seine Substanz von schmutzig-grauer Farbe und die Kernhaut blasig aufgetrieben. Das bei Spirogyren sonst sehr schön sichtbare Kernkörperchen ist ohne Anwendung von Reagentien von der Umgebung nicht zu unterscheiden. Im Zusammenhang mit der Desorganisation des Protoplasmas ist der Zellturgor vollständig aufgehoben. Die seitlich verblassten, gegen die Axe hin matt dunkelgrünen Chlorophyllspiralen bilden oft regellose Conglomerate um den Zellkern als idealen Mittelpunkt.

Im Gegensatz zu der zersetzten Chlorophyllsubstanz konnte eine Veränderung der Stärkeeinschlüsse nicht nachgewiesen werden.

Wurden Spirogyren in eine Kulturflüssigkeit von 0,5 % Aldehydgehalt gebracht, so gingen sie unter gleichen pathologischen Erscheinungen zu Grunde.

In einer 0,25 %-Lösung liessen sie nach 2 Tagen noch Plasmaströmung erkennen, während gleichzeitig die oben beschriebenen krankhaften Processe auftraten. In den Chlorophyllspiralen traten häufig Vakuolen auf. Eine einzelne Zelle barg oft 2—5 solcher Vakuolen in wechselnder Grösse. Protoplasmacirculation war auch in diesem Fall noch zu constatieren. Mit dem allmählichen Absterben der Zellen verschwanden auch successive diese pathologischen Gebilde.

In 1 ‰-Lösung vermögen Spirogyren 6—10 Tage auszuhalten, ohne völlig abzusterben, mit mehr oder weniger ausgeprägten Krankheitserscheinungen je nach der individuellen Sensibilität. In schwächeren Verdünnungen, z. B. in 0,5 ‰, lassen sich lange Zeit hindurch ohne besonders auffallende Erscheinungen Spirogyren kultivieren. Ein ganz besonderer Uebelstand ist bei solchen schwachen Lösungen nach längerem Stehen die leichte Oxydationsfähigkeit des Aldehyds, ferner das Auftreten von Bacterien und höheren Pilzen. Nach

einigen Tagen schon ist der Aldehyd grösstentheils zu Essigsäure oxydiert, so dass ein etwaiger intensiver Einfluss einerseits auf Kosten der letzteren erst gebildeten Säure zu setzen wäre, andererseits auf die Zersetzungsvorgänge verursachenden Pilze, seien es nun Bakterien oder sonstige Saprophyten. Es wurden desshalb die nöthigen Massregeln getroffen, um die von dieser Seite herkommenden Einwirkungen wenigstens auf ein Minimum zu reducieren, und es ergab sich, dass bei schwachen Concentrationen von 0,5 $^{00}/_{00}$ Aldehydgehalt an kein entschieden nachtheiliger Einfluss auf die Substanz des Plasmas, Zellkerns und Chlorophylls zu constatieren war.

II. Einfluss des Aethylaldehyds auf das Zellwachsthum, die Zelltheilung und Ernährung der Algen.

Wir haben gesehen, dass mit einer äusserlich wahrnehmbaren Affection des Protoplasmas auch eine allmähliche Sistierung einer der fundamentalsten aller Lebensäusserungen: des Bewegungsvermögens des Protoplasmas verknüpft war, bis schliesslich der Tod der Zelle eintrat. Es liegt subjectiv nahe, zu vermuthen, dass infolge der Zersetzung des Protoplasmas, die durch den Aldehyd eingeleitet wurde, auch das Wachsthum der Zelle beeinträchtigt werde und namentlich im ursächlichen Zusammenhang mit der krankhaften Veränderung des differenzierten Plasmas eine dauernde Sistierung der entsprechenden Functionen stehen kann.

Zur experimentellen Entscheidung dieser Frage kultivierte ich wieder verschiedene Spirogyrenspecies in Kulturflüssigkeit von $1^{00}/_{00}$—$0{,}1^{00}/_{00}$ Aldehydgehalt und zwar in den suspendierten Tropfen der oben beschriebenen Schulze-Selenka'schen feuchten Kammern. Gleichzeitig wurden Controlkulturen unterhalten und täglich mikroskopische Messungen vorgenommen. Es ergab sich,

dass ein Längenwachsthum in Lösungen bis $1^{00}/_{00}$ Aldehydgehalt nicht stattfindet, von $1^{00}/_{00}$—$0{,}5^{00}/_{00}$ Concentration zunimmt, ohne dass Zelltheilung eintritt, mit seltenen Ausnahmen. Bei $0{,}5^{00}/_{00}$—$0{,}1^{00}/_{00}$ Concentration wird die Zelltheilung und das Zellwachsthum nicht beeinträchtigt. Noch schwächere Lösungen von $0{,}5^{00}/_{00}$—$0{,}1^{00}/_{00}$ üben, wie erwähnt, keinen nachtheiligen Einfluss auf den Organismus der Zelle aus, und die Versuche haben übereinstimmend bestätigt, dass in diesem Falle Wachsthum, Zelltheilung und Assimilation normal vor sich gehen.

III. Einwirkung des Aethylaldehyds auf das Wachsthum der Bakterien und Schimmelpilze.

Bei Ernährungsversuchen mit verdünnten Aethylaldehydlösungen bemerkte ich häufig eine flockige Trübung der Flüssigkeit nach etwa 5—6 Tagen. Die mikroskopische Untersuchung ergab, dass man es mit Bakterien und namentlich saprophytischen Pilzen zu thun hatte. Mein Bestreben ging daraufhin, zu ermitteln, bis zu welcher Concentration Bakterien und höhere Pilze, namentlich Schimmelpilze noch fähig sind, zu vegetieren. Ich versetzte zu diesem Zweck Nährlösungen mit der nöthigen Aldehydquantität, so dass sich die entsprechenden Concentrationen von 1%—$0{,}1^{00}/_{00}$ ergaben. Als geeignetes Nährsubstrat verwandte ich sowohl die sog. Koch'sche Nährgelatine als die verbesserte Nägeli'sche Nährflüssigkeit,[1]) um etwaige durch das Substrat bedingte Differenzen feststellen zu können. Als Material zu den Versuchen dienten verschiedene formell oder schon durch ihre Lebensäusserungen namentlich Farbstoffproduktion charakteristische Species: 1. Mikrospirillum Finkler et

1) Flügge, Mikroorganismen 2. Aufl. S. 648.

Prior, 2. Staphylococcus pyogenes aureus, 3. Bacillus prodigiosus, 4. Bacillus luteus, 5. Bacillus subtilis.[1])

Es gelang mir, sämmtliche Bakterienformen in den erwähnten Nährlösungen von 0,5% an zu züchten. In 1%-Lösungen wurde die Entwicklung der Bakterien gehemmt, dieselben aber nicht getötet. Bacillus prodigiosus producierte sowohl gezüchtet in der Koch'schen Nährgelatine als in der verbesserten Nägeli'schen Nährflüssigkeit in allen Concentrationen von 0,5% an den ihm eigenthümlichen carminrothen Farbstoff. Stets ist im Vergleich zu den Controlkulturen die Zeitdifferenz eine ziemlich bedeutende, bis eine wahrnehmbare Entwicklung der Bakterien und auch der Schimmelpilze eintritt, sei es durch Verflüssigung des festen Nährsubstrates oder durch Trübung der Nährlösung, während die Controlculturen nach bedeutend kürzerer Zeit, oft nach einem Tag, bei hoher Temperatur die Wirkungen ihrer Lebensthätigkeit zu erkennen gaben. Bei 1‰ Aldehydgehalt beträgt die Zeitdifferenz 4—6 Tage, bis ein Wachsthum eintritt; bei 0,12% 8 Tage; bei 0,5% 10—14 Tage. Die Bakterienzelle setzt jedenfalls durch ihre Lebensenergie das umliegende Nährsubstrat in einer für ihre Entwicklung günstigen Weise um und bedarf zu dieser Arbeit längere Zeit. Ist die nächste Umgebung präpariert, dann tritt rasches Wachsthum ein und damit grössere Energie. Es wurde sehr genau darauf geachtet, dass die Nährmedien alkalisch reagierten und wenn sauer, wurden sie mit kohlensaurem Kalk neutralisiert. Brefeld[2]) z. B. hält alkalische Reaction des Nährsubstrates für eine nothwendige Bedingung zum Wachsthum der Bakterien. Man findet indess häufig, dass verschiedene Species, so z. B. das häufig kultivierte

1) Die Reinkulturen stammten von Hrn. Dr. med. Chr. Jakob, wofür ich an dieser Stelle meinen besten Dank ausspreche.

2) Brefeld, Schimmelpilze Bd. IV. S. 7.

Mikrospirillum Finkler et Prior, der angebliche Erreger der Cholera nostras, fähig sind, auf Nährsubstrat bei Anwesenheit von Säure zu gedeihen.

Weiterhin unternahm ich es, zu prüfen, wie sich Schimmelpilze dem Aldehyd gegenüber verhalten. Als Nährmedium verwandte ich wiederum die Koch'sche Nährgelatine und die verbesserte Nägeli'sche Nährflüssigkeit. Es ist eine Eigenthümlichkeit der Schimmelpilze, schwach sauer reagierende Kulturmedien den alkalischen vorzuziehen. Ich versetzte desshalb das Nährsubstrat, wenn es nicht schon schwachsauere Reaction zeigte, mit minimalen Mengen Zwetschgendecoctes, und es gelang mir, auf diese Weise verschiedene Schimmelarten, z. B. Aspergillus niger, Penicillium crustaceum Fries, Phykomyces nitens sich prächtig entwickeln und fructificieren zu sehen.

Auch hier war wieder eine individuell verschiedene Sensibilität zu beobachten. Aeusserst resistent ist das Penicillium crustaceum, weniger resistent Aspergillus niger und Phykomyces nitens. Auf Nährsubstanz, die 1%—0,5% Aldehyd enthält, vermögen die Sporen dieser Schimmelspecies nicht zu vegetieren. Ob sie keimunfähig sind, ist eine andere Frage. In den meisten Fällen habe ich gefunden, dass sie noch keimfähig sind, wenn sie auf festes Nährsubstrat (auf Brot etc.) ausgesät wurden. Hingegen auf Nährgelatine oder Nährflüssigkeit, die 0,25% und weniger Aldehydgehalt besitzt, vermögen sie sich recht gut zu entwickeln. In einer 0,5%-Aldehydnährlösung keimt die Penicilliumspore, breitet sich aber nur an der Oberfläche aus, dringt an wenigen Stellen tiefer ein und sucht gleichsam einen Kampf mit der umgebenden Substanz aufzunehmen, ohne zum Ziel zu gelangen. Bei schwächerem Aldehydgehalt konnte Penicillium crustaceum sich ganz normal entwickeln und fructificieren, so bei 0,3%.

Aspergillus niger gedeiht normal und fructificiert bei Concentrationen von 0,25 % an. Phykomyces nitens ist am empfindlichsten und vermag bei Nährlösungen von 0,17% an zu vegetieren. In 1‰-Aldehydlösungen stellt sich häufig das Penicillium als ein sehr unangenehmer Gast ein und fructificiert.

Bakterien und Schimmelpilze vermögen also in Aldehydnährlösungen von 0,5 % an sich normal zu entwickeln und den ihnen im Aldehyd gebotenen Kohlenstoff zum Aufbau organischer Substanz zu verwerthen, während stärkere Nährlösungen von 1%—0,5 % Aldehydgehalt eine Entwicklung verhindern, ohne jedoch die betreffende Bakterien- oder Sporenzelle zu töten, d. h. keimunfähig zu machen. Erst starke Concentrationen von 2 %, 3% etc. können die Keimfähigkeit speciell der Sporen von Schimmelpilzen aufheben.

IV. Einfluss des Aethylaldehyds auf das Wachsthum höherer Pflanzen.

Eine Reihe von Versuchen hat ergeben, dass Lösungen von stärkerem Aldehydgehalt als 0,1 % auf Pflanzen aus der Abtheilung der Phanerogamen entschieden nachtheilige, schliesslich den Tod herbeiführende Wirkungen ausüben. Meist wurden die Versuche mit Sprosstheilen angestellt, daneben zum Vergleich aber auch mit in wässeriger Nährlösung erzogenen Exemplaren oder auch mit Topf- und Wasserpflanzen. Beim Abschneiden der Sprosstheile wurden die nöthigen Maassregeln getroffen, um die Leitungsfähigkeit nicht zu hemmen, und demgemäss die betreffenden Zweige unter Wasser abgeschnitten.[1]) Die Versuche wurden in den warmen

1) H. de Vriess, Arbeiten aus d. bot. Institut Würzburg B. I S. 287.

Sommermonaten vorgenommen, wo also die Bedingungen für ein energisches Wachsthum und eine entsprechend lebhafte Transpiration möglichst günstig waren.

1 %-Lösungen führen ein Absterben schon nach 2 Tagen herbei, 0,5 % nach 3—4 Tagen, bis schliesslich mit 0,1 % eine Concentration sich ergibt, die nicht mehr tötlich, sondern vielmehr annähernd auf das Wachsthum solcher abgeschnittener Sprosstheile wirkt.

Bei stärkeren Lösungen, etwa 1 : 100, ist die zersetzende Wirkung des Aldehyds bis gegen die Spitze des Sprosses, an den entsprechenden Seitenästen und Blättern an dem missfarbenen, bald mehr ins schmutzig Graue, bald mehr ins Schwärzliche spielenden Ton erkennbar, besonders aber an der Blattnervatur, deren nächster Umgebung und an Stammabschnitten. Dabei ist der Turgor aufgehoben und wenn nicht die nöthigen Festigungsorgane vorhanden sind, z. B. bei Fagopyrum esculentum Much., Mulgedium alpinum Cass. biegt der Sprosstheil infolge seines Eigengewichtes um. Bei schwächeren Lösungen, etwa 0,5 %, äussert sich die zerstörende Wirkung bis $^2/_3$ der Sprossaxe bei einer Anzahl von phanerogamischen Gewächsen (Ausnahmen siehe im Folgenden), z. B. bei Dictamnus Fraxinella Pers.; war die Sprossaxe dieser Pflanze 90 cm lang, so waren etwa 58—63 cm afficiert, während die oberste Partie des Stammes intakt blieb.

Bei 0,25 %-Concentration ist eine Destruction bis nahe an die Mitte des Stammes hin sichtbar sammt den sich verzweigenden Seitenästen und Blättern.

Bei 0,1 %-Lösung ist die zerstörende Wirkung beschränkt auf den untersten in der Lösung befindlichen Stammtheil, oder nur wenige Centimeter über dem Niveau der Lösung. Auch hier noch kann der Stamm umbiegen bei Pflanzen, die arm an sklerotischen Elementen sind,

z. B. bei Mulgedium alpinum Cass. Der oberhalb der Biegungsstelle gelegene, sich normal präsentierende Theil der Pflanze wächst bei dieser Concentration oft 8—10 Tage unter Spiralwindungen weiter (spec. Fagopyrum esculentum Mnch.), während die entgegengesetzte Stammpartie sammt ihren Abzweigungen gänzlich abgestorben ist und keine Spur von turgescentem Aussehen zeigt.

Bei gebührender Beachtung dieser Thatsachen drängt sich die Frage auf, woher es kommen mag, dass bei 1 %-Lösung nach einem einzigen Tag bis gegen die Spitze hin die Wirkungen des imbibierten Aldehyds zu Tage treten, während bei schwächeren Lösungen eine graduelle Verschiedenheit in der Wirkung zu constatieren ist, bis mit 0,1 %-Lösung eine zersetzende Wirkung nur an dem in der Lösung befindlichen Sprosstheil und wenige Centimeter oberhalb des Flüssigkeitsspiegels sich äussert. Es liegt nichts Absurdes in der Vermuthung, dass dem in den Membranen des Holzkörpers emporsteigenden Transpirationsstrom theilweise Aldehydquantitäten entrissen werden, die in die benachbarten Gewebepartieen secundär diffundieren und hier die besprochenen Destructionserscheinungen mehr oder weniger intensiv hervorrufen, so dass endlich die oberen Sprosspartieen eine Lösung von geringerer Concentration in sich aufnehmen, und diese nicht nur vertragen, sondern wie wir im Folgenden sehen werden, höchst wahrscheinlich chemisch verändert zur Ernährung verwenden. Dieser Process der theilweisen Aldehydentziehung ist natürlich auch abhängig von der Intensität der Transpiration, die von unten her zur Imbibition nöthigt.

Der Weg, den eine Aldehydlösung eingeschlagen hat, ist schon makroskopisch sehr gut an Stengelquerschnitten zu erkennen. Dieselben zeigen einen continuirlichen Ring von brauner Färbung namentlich bei verholzten Zweigen, der sich bei saftigen Pflanzen häufig

centrifugal verbreitert hat. Mikroskopisch erscheint die Vasalpartie, die zugehörige Cribralpartie sammt dem Cribralparenchym afficiert. An den Blättern tritt die Umgebung der Blattnerven 1., 2. und 3. Ordnung durch einen missfarbenen, bisweilen in's Dunkle spielenden Ton hervor, der allmählich wieder in die grüne Färbung der dazwischen liegenden, intakt gebliebenen Mesophyllareolen übergeht. Die Blattrandpartieen sind stets unversehrt. Der betreffende Sprosstheil verliert infolge des eingeleiteten Processes sein frisches, turgescentes Aussehen, wird welk und stirbt ab. Häufig tritt an der Blattspreite von Farnwedeln, namentlich von Species aus der Gruppe der Polypodiaceen: Pteris argyrea und Pteris flabellata sowohl an der Oberseite als auch an der Unterseite, ferner an den Blattstielen ein harzähnliches, in Aether leicht lösliches Secret aus, wenn Wedel dieser Species einige Tage in 0,5 $^{00}/_{00}$ Lösung gestellt wurden. Derselbe pathologische Process, der Aehnlichkeit mit der Gummosis der Kirschbäume hat, war auch an Zweigen von Melilotus officinalis Desr. zu beobachten, die in einige Zeit in $1^{00}{}_{00}$-Lösung gestanden waren. Interessant war bei diesen Versuchen das energische Wachsthum abgeschnittener Sprosse in $1^{00}{}_{00}$-Lösung. Bei schwächeren Lösungen nimmt es rasch ab, bis bei einer Concentration von 1 : 4000 ein ernährender Einfluss auf das Wachsthum nicht mehr zu constatieren ist. Man vergleiche bei folgenden Versuchen z. B. die Längenzunahme der Sprosstheile, die zugleich mit einer sehr üppigen, allseitigen Entwicklung verbunden ist.

I. Versuch vom 14. Juli 1890 mit Aconitum Napellus Linn.

Vier kräftig vegetirende Zweige wurden unter Beobachtung der nöthigen Vorsichtsmassregeln abgeschnitten und in je vier Glaskolben gestellt, die je 1000 ccm $1^{00}/_{00}$-

Aldehydlösung enthielten, in geschützter Lage im Freien aufgestellt. Ihre Länge betrug genau 1,28 m.

Controlversuch. Gleichzeitig wurden je 4 kräftig entwickelte Zweige von Aconitum Napellus Linn. von genau 1,28 m in Glaskolben gesetzt, die je 1000 ccm frisches Leitungswasser enthielten, und unter denselben Bedingnngen aufgestellt.

Am 28. Juli betrug:

1. die Länge der vier Zweige in der Aldehydlösung im Durchschnitt 1 m 62 cm; also genau 32 cm Längenzunahme im Durchschnitt. An Lösung hatten sie durchschnittlich 600 ccm verbraucht;

2. die Länge der vier Zweige beim Controlversuch durchschnittlich 1 m 37 cm; also genau 9 cm Längenzunahme im Durchschnitt. Die Wasseraufnahme betrug durchschnittlich 250 ccm.

Am 6. August 1890 betrug:

1. die Länge der vier Zweige in der Aldehydlösung durchschnittlich 1 m 70 cm; also 8 cm Längenzunahme; an Lösung hatten sie durchschnittlich 130 ccm verbraucht;

2. die Länge der 4 Zweige beim Controlversuch durchschnittlich 1 m 43 cm, also genau 6 cm Längenzunahme; der Verbrauch an Wasser betrug durchschnittlich 110 ccm.

II. Versuch vom 14. Juli 1890 mit Althaea officinalis L.

4 kräftig vegetierende Zweige von genau 1 m Länge wurden in je 4 Glaskolben gestellt, die je 500 ccm $1^{00}/_{00}$ Aldehydlösung enthielten und im Freien aufgestellt.

Controlversuch. Gleichzeitig wurden je 4 kräftig entwickelte Zweige von je 1 m Länge in Glaskolben, die je 500 ccm frisches Leitungswasser enthielten, unter denselben Bedingungen aufgestellt.

Am 28. Juli betrug:

1. die Länge der 4 Zweige in der Aldehydlösung im Durchschnitt 1 m 31 cm; also genau 31 cm Längenzunahme. An Lösung hatten sie durchschnittlich 455 ccm verbraucht.

2. die Länge der 4 Zweige beim Controlversuch durchschnittlich 1 m 10 cm; also 10 cm Längenzunahme. Die Wasseraufnahme betrug durchschnittlich 340 ccm.

III. Versuch vom 23. Juli 1890 mit Rosa canina L.

4 kräftige Zweige von 1 m Länge wurden in je 4 Glaskolben gestellt, die je 500 ccm $1^{00}/_{00}$-Aldehydlösung enthielten, und im Freien aufgestellt.

Controlversuch. Gleichzeitig wurden 4 Zweige von gleicher Beschaffenheit von je 1 m Länge in je 4 Glaskolben gesetzt, die 500 ccm frisches Leitungswasser enthielten und unter denselben Bedingungen im Freien aufgestellt.

Am 6. August 1890 betrug:

1. die Länge der 4 Zweige in der Aldehydlösung durchschnittlich 1 m 22 cm; also 22 cm Längenzunahme. An Lösung hatten sie durchschnittlich 380 ccm verbraucht.

2. die Länge der 4 Zweige beim Controlversuch durchschnittlich 1 m 8 cm; also 8 m Längenzunahme. Die Wasseraufnahme betrug durchschnittlich 205 ccm.

IV. Versuch vom 6. August 1890 mit Helianthus annuus L.

a) 4 kräftig vegetierende Zweige von 1 m Länge wurden in je 4 Glaskolben gestellt, die je 1000 ccm $1^{00}/_{00}$ Aldehydlösung enthielten.

b) 4 Zweige von 1 m Länge wurden in je 4 Glaskolben gestellt, die je 1000 ccm $0{,}5^{00}/_{00}$ Aldehydlösung enthielten.

c) 4 Zweige von 1 m Länge wurden in je 4 Glaskolben gesetzt, die 1000 ccm 0,25 ‰ Aldehydlösung enthielten und im Freien aufgestellt; die Länge betrug 1 m.

Controlversuch. Gleichzeitig wurden 4 Zweige von je 1 m Länge in Glaskolben, die je 1000 ccm frisches Leitungswasser enthielten, unter denselben Bedingungen aufgestellt.

Am 20. August 1890 betrug:

1. a) die Länge der 4 Zweige in 1 ‰-Aldehydlösung 1 m 23 cm im Durchschnitt; also 23 cm Längenzunahme; an Lösung wurden durchschnittlich 512 ccm verbraucht.

b) die Länge der 4 Zweige in 0,5 ‰-Aldehydlösung durchschnittlich 1 m 15 cm; also 15 cm Längenzunahme; an Lösung hatten sie durchschnittlich 490 ccm verbraucht.

c) die Länge der 4 Zweige in 0,25 ‰-Aldehydlösung im Durchschnitt 1 m 14 cm; also 14 cm Längenzunahme; an Lösung hatten sie durchschnittlich 438 ccm verbraucht.

2. die Länge der 4 Zweige beim Controlversuch durchschnittlich 1 m 12 cm; also genau 12 cm Längenzunahme. Die Wasseraufnahme betrug durchschnittlich 480 ccm.

Aehnliche Resultate ergaben sich mit einer Reihe von andern unter denselben Bedingungen kultivierten Sprosstheilen von folgenden Pflanzen: 1. Digitalis purpurea L. 2. Melilotus officinalis Desr. 3. Symphytum officinale L. 4. Blitum Bonus Henricus C. A. Meyer. 5. Valeriana officinalis L. 6. Nicotiana rustica L. 7. Dictamnus Fraxinella Pers. 8. Aristolochia Clematitis L. 9. Glycyrrhiza glabra L. 10. Zea Caraqua. 11. Anchusa officinalis L.

Das überaus energische Wachsthum, verbunden mit einer üppigen, allgemein kräftigen Entfaltung, kann, wie oben angedeutet, in der Weise erklärt werden, dass der grössere Theil des eingedrungenen Aldehydes in den unteren Partieen des pflanzlichen Körpers zurückgehalten wird, hier vom Holzkörper aus je nach seiner Concentration und dem specifischen Widerstande des pflanzlichen Organismus zerstörend in die parenchymatische Umgebung eintreten kann, ein kleiner Procentsatz aber, der chemisch verändert ist, allmählich in die oberen Partieen eindringt und zum Ernährungsprocess vermöge seines Kohlenstoffgehaltes verwandt wird.

Wurden abgeschnittene Sprosstheile, die in $1^{00}/_{00}$-Lösung bereits ein üppiges Wachsthum entfaltet hatten, in frisches Wasser gestellt, so blieben sie zwar am Leben, das energische Wachsthum liess indess nach kurzer Zeit bereits bedeutend nach und war ein minimales im Vergleich mit den in $1^{00}/_{00}$-Aldehydlösungen kultivierten Sprosstheilen.

Es unterliegt also keinem Zweifel, dass der Aldehyd die directe Ursache der erwähnten üppigen Entwicklung des pflanzlichen Organismus ist.

Ganz andere Resultate ergaben sich jedoch, wenn statt abgeschnittener Sprosse als Versuchsobjecte Exemplare verwendet wurden, die mit Wurzeln versehen waren: so in Nährlösung erzogene oder Wasser bewohnende Pflanzen, z. B. Stratiotes aloides L., Menyanthes trifoliata L., Sagittaria sagittifolia L., Polygonum amphibium L. In kurzer Zeit wurden die wenig resistenten Wurzeln getötet und eine allmähliche Sistierung des Wachsthums trat ein, bis die etwa vorhandenen Reservestoffe verbraucht waren; die betreffende Pflanze wurde welk und starb ab.

So stirbt Trianea bogotensis in $1^{00}/_{00}$-Lösung nach 4 Tagen ab unter stetig zunehmender Verblassung ihrer

Schwimmblättchen. In 0,25‰ Lösung treibt dasselbe Pflänzchen Ausläufer, ohne jedoch in dieser Hinsicht eine Differenz mit den Controlkulturen zu zeigen.

Lemmna polyrrhiza L. erträgt 1‰-Lösung ohne jede Veränderung, treibt jedoch keine Ausläufer, deren bei 0,5‰-Concentration zu beobachten waren.

Unter Umständen kann also der Aethylaldehyd, wie wir gesehen, äusserst üppige Entfaltung veranlassen. Bei Pflanzen aber, die arm an sklerotischen Elementen sind, also solchen, die saftreiche Stengel besitzen, stirbt die untere Partie ab, während die obere unter Spiralwindung, meist nach rechts, hie und da auch nach links windend, weiter wächst. Man kann solche Pflanzen Wochen lang in diesem abnormen Stellungsverhältniss kultivieren. Schliesslich sei noch bemerkt, dass schwächere Lösungen als 0,05‰ jedenfalls auch noch einen ernährenden Einfluss ausüben könnten, wenn nicht in kurzer Zeit die massenweise auftretenden niederen pflanzlichen Organismen die Aldehydlösung und die darin befindlichen Sprosstheile zerstören würden.

V. Wirkungen des Formaldehydes auf die Lebensthätigkeit der Pflanzen.

Der Formaldehyd ist für den pflanzlichen Organismus ein sehr energisch wirkendes Gift. Aus einer Reihe von Versuchen hat sich ergeben, dass Verdünnungen bis 0,05‰ entschieden tötlich wirken. Besonders empfindlich sind namentlich die chlorophyllenthaltenden Pflanzen. Individuelle Unterschiede in der Reaction einzelner Gruppen treten selten auf. Ebenso empfindlich sind aber auch die Schimmelpilze und merkwürdiger Weise auch die Bakterien.

Sporen von Penicillium crustaceum Fries keimen erst bei Concentrationen von 0,01‰, bleiben aber

noch keimfähig, wenn sie 14 Tage in 0,5 $^{00}/_{00}$ Lösung gelegen waren.

Bakterien werden in ihrer Entwickelung gehemmt, aber nicht getötet bei Anwesenheit von 0,1 $^{00}/_{00}$ Formaldehydgehalt. Erst in Culturmedien von 0,05 $^{00}/_{00}$ an können sie sich entwickeln, besonders Bacillus prodigiosus. Ebenso verhalten sich Mikrospirillum Finkler et Prior, Staphylococcus pyogenes aureus.

Abgeschnittene Zweige höherer Pflanzen sterben noch ab in Concentrationen von 0,05 $^{00}/_{00}$, z. B. Zea Caraqua, Mulgedium alpinum L., Digitalis purpurea L. nach etwa 14 Tagen; ähnlich verhalten sich Topfpflanzen, die mit Formaldehydlösungen von 0,05 $^{00}/_{00}$ begossen wurden, z. B. Geranium, Chamaerops humilis, Nerium Oleander L.

Zum Schluss möchte ich auf die Habilitationsschrift [1]) von Bokorny hinweisen, wo die Ergebnisse einer Anzahl von Versuchen mit Repräsentanten aus den verschiedenen Gruppen des Pflanzenreiches, mit Ausnahme der Pilze, mitgetheilt sind.

Ausser dem Aethyl- und Formaldehyd standen mir noch einige höhere Aldehyde zur Verfügung, die aber wegen ihrer überaus schweren Löslichkeit in einer geeigneten Substanz sich als durchaus unbrauchbar zu einer entsprechenden Culturflüssigkeit erwiesen, so Benzaldehyd, Salicylaldehyd, Buthyl- und Valerianaldehyd.

Zusammenfassung der wichstigsten Resultate.

1. Die ersten pathologischen Processe nach Einwirkung von stärkeren Aethylaldehydlösungen bis 0,1 % auf Algen speciell Spirogyren äussern sich durch Verblassung der Chlorophyllspiralen bei gleichzeitiger Trübung des Plasmas und Zellkerns.

1) Studien und Experimente über den chemischen Vorgang der Assimilation, Erlangen 1888, S. 19 ff.

2. 1 ‰ Aethylaldehydlösungen veranlassen ein intensives Längenwachstum abgeschnittener Sprosse, vorausgesetzt, dass diese mit resistenten Festigungselementen versehen sind z. B. Aconitum Napellus L., wirken also ernährend. Pflanzen dagegen, die sammt den Wurzeln in 1 ‰ Aethylaldehydlösung gebracht werden, sterben ab.

3. Spirogyren sterben ab, wenn sie der Einwirkung von Concentrationen bis 0,5 ‰ Aethylaldehyd ausgegesetzt werden.

4. Bakterien werden in Culturmedien bei Anwesenheit von 1 % Aethylaldehyd wohl in ihrer Entwickelung gehemmt, aber nicht getötet.

5. Sporen von Penicillium crustaceum Fries und Aspergillus niger van Tieghem vermögen bei Anwesenheit von 1 % bis 0,5 % Aethylaldehyd im Nährsubstrat zwar nicht zu keimen, bleiben aber keimfähig.

6. Sporen von Penicillium crustaceum Fries vermögen bei Anwesenheit von 0,5 ‰ Formaldehyd zwar nicht zu keimen, sind aber desshalb noch nicht keimunfähig.

7. Bakterien vermögen in Nährmedien bei Gegenwart von Formaldehyd in Concentrationen von 0,05 ‰ an sich normal zu entwickeln.

8. Harzähnliche Secrete an der Oberfläche der Blattspreite und des Stengels von Farnwedeln lassen auf pathologische Processe schliessen.

Zum Schluss sei es es mir gestattet, an dieser Stelle Herrn Dr. Bokorny meinen besten Dank für das freundlichst überlassene Thema zu vorliegender Arbeit auszusprechen.